

АНАЛИЗ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ

докт. физ. - мат. наук С.А. Тюрин,
А.А. Тарасенко, А.Н. Дыгало.

В работе рассматриваются существующие математические модели лесных пожаров. Дан краткий анализ их преимуществ и недостатков.

Под математической моделью лесного пожара будем понимать совокупность формализованных соотношений, выражающих связь между входными и выходными параметрами, характеризующими процесс [1]. По назначению модели можно разделить на три класса: фундаментального уровня, оперативно-тактического и стратегического. По принципам построения – на аналитические, имитационные и статистические.

1. Аналитические модели лесных пожаров, получаемые описанием физико-химических процессов горения лесного горючего материала (ЛГМ) [3, 4]. Построение таких моделей осуществляется методами математической физики. Объект исследования - широкий круг физических явлений, связанных с различными механизмами тепло- и массопередачи, с учетом реакционных и структурных свойств ЛГМ, а также внешнего воздействия. Построение данного типа моделей сводится к составлению и решению систем нелинейных интегро-дифференциальных уравнений при заданных начальных и граничных условиях. Полагается при этом, что переменные и функции, входящие в данные модели отвечают соответствующим математическим требованиям (непрерывность, аналитичность и т.д.), что на самом деле часто является лишь модельным допущением. Модели обобщаются на описание всех типов лесных пожаров. Такая универсальность приводит либо к усложнению (увеличению числа уравнений и краевых условий) [4], либо к необходимости привлечения эмпирических соотношений [3]. Несомненным преимуществом такого класса моделей является широта охвата и завершенность. Вместе с тем, численные решения систем уравнений, дающие подробную информацию о физических параметрах пожара, не обладают достаточной простотой и наглядностью и тем самым делают их малоприспособными для использования при проведении оперативно-тактических мероприятий.

2. Имитационные модели динамики выгорания лесных угодий отличаются большим разнообразием подходов. Очевидным преимуществом данного класса моделей является наглядность получаемой информации, что имеет большую практическую значимость и используется для расчета сил и средств пожаротушения. Конечная цель таких исследований – создание АСУ “Пожарная охрана леса”[1].

Имитационные математические модели, в первую очередь, можно разделить на вероятностные и детерминированные.

Вероятностные, в свою очередь, делятся на решеточные и нерешеточные. Из первых следует отметить [2,7] - модели с дискретным временем, рассматривающие лесной пожар на основании развиваемой авторами теории процессов случайного распространения. Модель, основанная на большом числе допущений, рассматривает динамику распространения пожара по большому лесному массиву, разделенному на кварталы противопожарными разрывами (внутриквартальная динамика не рассматривается). Вероятности перехода пожара через разрывы задаются априорно. При этом возможно задание анизотропного поля вероятностей, что имитирует распространение пожара под действием ветра. Получаемый контур пожара случаен, строится без привязки к какому-либо реальному участку лесного массива и не может рассматриваться в качестве опорного динамического параметра при планировании мероприятий по ликвидации реального пожара. Модель статистически описывает “процесс случайных потерь” - количество участков массива, сгоревших или горящих в момент t_n . Следует отметить, что вероятностные модели не ставят целью получение параметров реального пожара, поскольку выходная информация носит статистический характер.

К нерешеточным моделям смешанного типа следует отнести [1, 5], которые рассматривают распространения пожара как волновой процесс на плоскости в неоднородных и анизотропных средах. При этом модели исходят из представлений о кусочной непрерывности распределения ЛГМ (локальные разрывы не учитываются), скорость распространения пожара рассматривается как сумма детерминированной и случайной частей, что позволяет учесть флуктуации линии фронта. Процесс перехода пожара через линейные бесконечные разрывы рассматривается как случайный. Допущения, принятые в моделях, ограничивают область ее применения пожарами со сравнительно низкой интенсивностью тепловыделения.

Другим подклассом моделей являются детерминированные описания [8-13]. Между собой данные модели отличаются как степенью упрощений и ограничений, так и используемыми методами моделирования (в основном, - геометрическими). Отличительной чертой данных моделей является задание плотности ЛГМ как интегральной характеристики области. В одних случаях [10, 11] слой ЛГМ предполагается однородным, что позволяет применить в качестве вспомогательной модели геометрический закон горения и описать контур кромки выгорания в любой наперед заданный момент времени в зависимости от начальной формы очага. При этом возможен учет ветрового воздействия и наличия макроскопических препятствий

(размеры которых соизмеримы с областью, на которой рассматривается пожар). Препятствия задаются в виде многоугольников координатами своих вершин, при этом характер ограничений модели таков, что не рассматриваются флуктуации плотности ЛГМ. Используемый аппарат – годограф вектор – функции плотного размещения.

Моделирование кромки выгорания с учетом неоднородности плотности в континуально распределенном ЛГМ рассматривается в [8, 9] методом имиджевой экстраполяции. По n известным в предыдущие моменты времени топографическим схемам кромки выгорания воссоздается контур в любой последующий момент времени. Очевидно, что точность получаемого прогноза напрямую зависит от величины n , точности задания контура в предыдущие моменты времени и используемых методов экстраполяции, а также точности и “подробности” задания неоднородностей. К основным недостаткам детерминированных моделей следует отнести то, что точность их определяется степенью детализации закладываемой в них на входе информации. Это приводит к необходимости оптимизации ее количества в каждом конкретном случае. Имитационные модели наиболее подходят под определение моделей оперативно-тактического уровня, некоторые из них [1, 8] непосредственно рассматривают отдельные аспекты взаимодействия пожара и сил пожаротушения.

3. Статистические модели стратегического уровня, получаемые на основе анализа наблюдений, описывающие лесной пожар как случайное событие в системе противопожарной охраны лесов. Примером может являться [6].

Таким образом, анализ существующих моделей демонстрирует особую практическую значимость имитационных математических моделей. Вместе с тем, существующие модели в большей своей мере практикуют интегральный подход задания свойств горючей среды и как следствие – предполагают детерминированность процесса развития пожара. Подобный подход явно неуместен при описании процесса распространения горения по слою ЛГМ с многочисленными локальными разрывам (что, например, имеет место для вершинного верхового пожара при отсутствии сомкнутости полога леса), т.к. усреднение характеристик среды приводят к качественно иной картине. Это диктует необходимость привлечения дифференциального подхода при описании свойств среды, – как следствие – невозможности детерминированного задания ее локальных параметров. В связи с этим возникает актуальная задача построения адекватной стохастической модели распространения лесного пожара.

ЛИТЕРАТУРА

1 Доррер Г.А. Теория распространения пожара как волнового процесса: Автореф.дис...д-ра техн. наук: 06.03.03./ ИЛиД СО АН СССР. – Красноярск, 1989. – 45 с.

2 Воробьев О.Ю., Доррер Г.А. Вероятностная модель распространения лесного пожара // Вопросы лесной пирологии. – Красноярск: Институт леса и древесины, 1974.– С.118 – 133.

3 Леонтьев А.К., Моршин В.Н., Родионов С.С. Метод расчета условий воспламенения полога древостоя низовым лесным пожаром // Лесные пожары и борьба с ними. М.: ВНИИЛМЛХ, 1987. – С. 42 –50.

4 Гришин А.М. Математическое моделирование лесных пожаров// Лесные пожары и борьба с ними. – М.: ВНИИЛМЛХ, 1987. – С. 65 – 78.

5 Доррер Г.А. Оценка статистических характеристик контуров лесных пожаров // ФГВ. – 1978. – № 2. – С. 71 – 76.

6 Курбатский Н.П., Доррер Г.А., Дорогов Б.И. Расчет распределения источников пожаров в лесу // Лесное хозяйство. – 1978. – № 7. – С. 76 – 78.

7 Воробьев О.Ю., Валендик Э.Н. Вероятностное множественное моделирование распространения лесных пожаров. – Новосибирск.: Наука, 1978. – 159 с.

8 Ромін А.В. Теоретичні аспекти гасіння лісових пожеж на основі предбачення форми кромки вигорання // Прикладная геометрия и инженерная графика: Сб. тр. Таврической государственной агротехнической академии. – Вып. 4. – Т.10. – Мелитополь: ТГАТА, 1999. – С. 108 – 111.

9 Куценко Л.М., Ромін А.В. Сегментація контура напівтонового зображення // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. АПБ Украины. – Вып. 9. – Харьков: Фолио, 2001. – С. 111 – 115.

10 Комяк В.А., Коссе А.Г., Откидач Н.Я., Шило С.А. Моделирование динамики развития лесного пожара с учетом ветрового воздействия // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып.5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С. 115 – 123.

11 Комяк В.А., Откидач Н.Я., Шило С.А. Геометрическое моделирование в прогнозах динамики развития лесного пожара // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып. 5. – Харьков: ХИПБ, 1999. – С. 124 – 127.

12 Быков В.М., Откидач Н.Я. Прогноз динамики выгорания неоднородного слоя // Пожежна безпека. Сб. науч. тр. – Черкаси: ЧПБ, 1999. – С. 185 – 187.

13 Сивальнев А.Н., Васильев А.Б. Основы оперативного прогнозирования контура выгорания лесного участка // Проблемы пожарной безопасности. Сб. науч. тр. – Вып. 2. – Харьков: ХИПБ, 1997. – С. 145 – 148.